

NUEVO PROCEDIMIENTO DE ENSAYO PARA EVALUAR LA TENACIDAD DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS

**Félix PÉREZ JIMÉNEZ; Rodrigo MIRÓ RECASENS; Adriana MARTÍNEZ;
Elisabet GARROTE VILLAR.**

Departamento de Infraestructura del Transporte y Territorio
Universidad Politécnica de Cataluña

RESUMEN

Con objeto de evaluar la tenacidad de las mezclas bituminosas, el Laboratorio de Caminos de la Universidad Politécnica de Cataluña ha desarrollado un nuevo ensayo de tracción directa aplicado a probetas prismáticas. En este trabajo se ha analizado el efecto del tipo de betún y de la temperatura en la tenacidad de las mezclas mediante la utilización de este ensayo. Para ello se ha fabricado una mezcla S-20, de composición fija, utilizando tres tipos de ligantes: un betún convencional B-60/70, un betún modificado con polímeros BM-3c y un betún modificado con polvo de neumático BM-pn. Los ensayos se han realizado a diferentes temperaturas, desde -10 a 40 °C, intentando abarcar el rango al que se ven sometidas las mezclas en los firmes construidos en nuestro país. Los resultados indican que el empleo de ligantes modificados en este tipo de mezclas mejora la energía de fractura a temperaturas extremas, dependiendo del tipo de modificador empleado.

Palabras clave: Tenacidad de Mezclas Bituminosas, Ensayo a Tracción Directa

ABSTRACT

The Road Research Laboratory of the Technical University of Catalonia has developed a new direct tensile test to assess the tenacity of bituminous mixtures which is applied to prismatic specimens. The effect of bitumen type and temperature on the tenacity of the tested mixtures is analyzed in this study by this new test. An S-20 mixture type was manufactured with a set design and three different bitumens: a conventional 60/70 penetration bitumen, a polymer-modified bitumen and a crumb rubber bitumen. The tests

were performed at different temperatures, from -10 to 40°C, in order to include the temperature range of pavements in service in Spain. The results show that polymer-modified bitumens in this type of mixtures improve breaking energy at severe temperatures, the degree of improvement being dependent upon the type of modifier used.

Keywords: Tenacity of Asphalt mixes, Direct Tensile Test

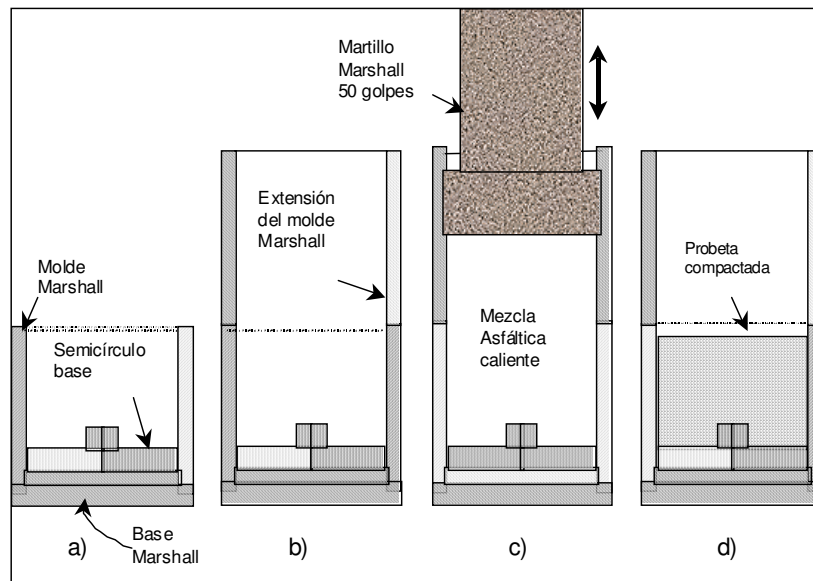
1. INTRODUCCION

Las solicitaciones de tracción que se forman en la parte inferior de las capas asfálticas, que constituyen la mayor parte de los firmes de carretera, provocan su rotura mecánica, por lo que deben ser estudiadas con detalle para poder mejorar el comportamiento mecánico y el diseño de los firmes.

Para determinar las propiedades mecánicas de las mezclas bituminosas se requiere de métodos suficientemente simples y representativos para que su aplicación también sea aceptada. En este sentido se destaca la utilidad del Ensayo de Tracción Indirecta, que permite obtener la carga máxima que aguanta una mezcla antes de romper. No obstante, hay parámetros mecánicos que no pueden ser adecuadamente valorados mediante este ensayo, como son la tenacidad y la deformación de rotura.

Es por ello que el Laboratorio de Caminos del Departamento de Infraestructura del Transporte y Territorio de la Universidad Politécnica de Cataluña desarrolló en 1997 un ensayo de tracción directa, ensayo BTB, de ejecución rápida y sencilla, que permite evaluar la resistencia a la fisuración y, en especial, la tenacidad y el comportamiento de la mezcla durante su rotura.

El ensayo BTB está basado en un procedimiento especial para la fabricación de probetas que permite ensayarlas a tracción. La probeta se fabrica en la compactadora Marshall sobre una base constituida por dos semicírculos con un resalto en la zona de contacto, lo que crea una entalladura en la parte central de la probeta, debilitando esta zona para provocar la formación de un plano de fisuración y a la vez sirve para crear un sistema de anclaje donde aplicar los esfuerzos de tracción, tal y como se indica en la Figura 1.



(1)



(2)

(3)

Figura 1. (1) Proceso de fabricación de la probeta; (2) Bases de las probetas; (3) Probeta lista para ser ensayada

Durante el ensayo, realizado a velocidad de desplazamiento constante, se va produciendo la apertura de la entalladura, lo que provoca la fisuración de la probeta, Figura 2. En él se registra el esfuerzo de tracción aplicado sobre la entalladura y la apertura de ésta.

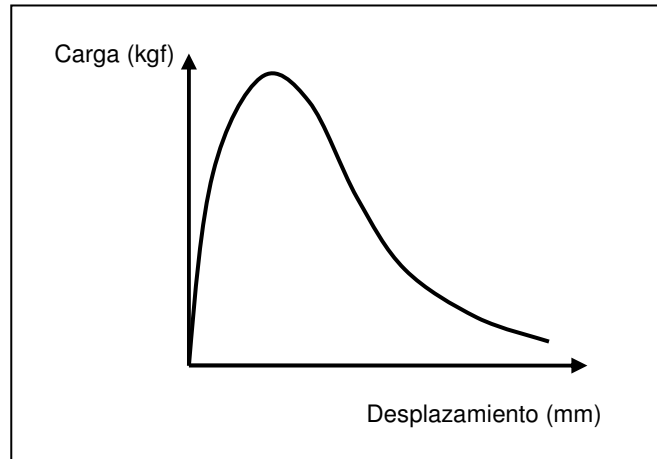
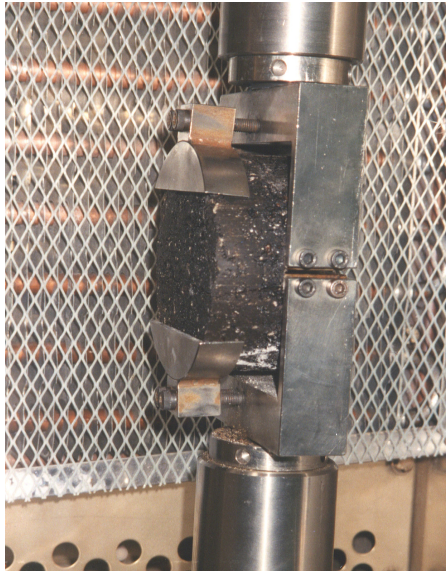


Figura 2. Ensayo BTDR: disposición de la probeta y curva de rotura

Más recientemente, en esta misma línea, Wagoner et al., han desarrollado otro ensayo a tracción directa, el ensayo DC(T) (Disco Compacto con muescas), que también pretende aprovechar el potencial de la geometría cilíndrica de las probetas, en este caso fabricadas mediante el compactador giratorio Superpave.

Después de varias iteraciones en el laboratorio se desarrolló una geometría cilíndrica, que maximizaba la longitud de la sección de fisuración y evitaba la rotura de la probeta por los agujeros de carga, Figura 3.

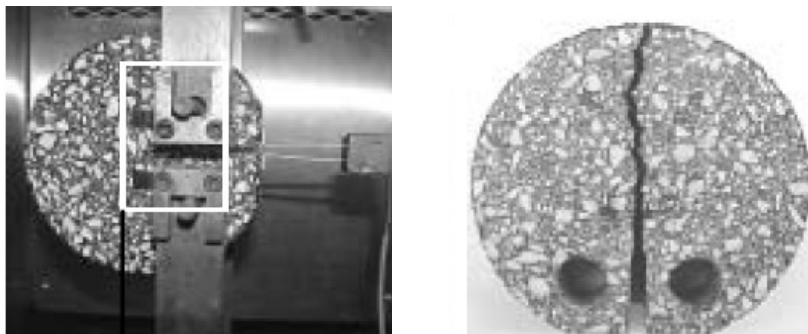


Figura 3. Ensayo DC(T) y propagación de la fisura con la geometría de la probeta propuesta

Al igual que ocurría con el ensayo BTD, una de las ventajas de este ensayo es la facilidad de fabricación de las probetas cilíndricas. Sin embargo, realizar los agujeros de carga en la probeta resulta más difícil: es necesario disponer de una plantilla para localizar los agujeros, hacer los agujeros con un taladro, cortar el plano de borde y realizar la muesca en la probeta.

Otro de los inconvenientes de ambos ensayos es que la probeta no se encuentra sometida a un ensayo de tracción simple puro, lo que provoca la aparición de compresiones en el extremo opuesto al punto de aplicación de la carga, complicándose el cálculo de los parámetros mecánicos.

Por ello, con el fin de seguir mejorando los métodos de diseño de las mezclas bituminosas, el Laboratorio de Caminos de la Universidad Politécnica de Cataluña ha desarrollado un ensayo simple de tracción directa aplicado a probetas prismáticas. Mediante este ensayo se determina la tenacidad y la deformación de rotura de la mezcla, parámetros que, en general, no se contemplan en su diseño y que repercuten de manera definitiva en su comportamiento mecánico. Este ensayo es aplicable tanto a probetas fabricadas en laboratorio como a testigos extraídos 'in situ'.

El objetivo principal de este trabajo ha sido analizar el efecto del tipo de betún y de la temperatura en la tenacidad de las mezclas bituminosas, mediante la aplicación de este ensayo. Para ello se han fabricado mezclas tipo S-20 de composición fija, con diferentes betunes, convencionales y modificados, y se han ensayado a tracción directa en un rango de temperaturas entre -10 y 40 °C.

2. METODOLOGÍA

2.1 MATERIALES

Se han fabricado tres tipos de mezclas asfálticas, variando únicamente el tipo de betún utilizado. La granulometría que se ha empleado es del tipo S-20 centrada en el huso, con áridos calizos y filler de recuperación, que se ha obtenido tras el tamizado de los áridos. El porcentaje de betún sobre el peso de los áridos ha sido del 4,5%. Los tipos de ligantes que se han utilizado son un betún convencional B-60/70, un betún modificado con polímeros

BM-3c y un betún modificado con polvo de neumático, que denominaremos BM-pn. Las características de estos betunes se recogen en la Tabla 1.

Características	Unidades	Tipo de ligante		
		B-60/70	BM-3c	BM-pn
Penetración	1/10 mm	63	56	65
Punto de Reblandecimiento, AyB	°C	50,6	67,2	58,7
Índice de Penetración	--	-0,5	2,7	1,5
Punto de Fragilidad Fraass	°C	-13	-17	-19
Recuperación elástica	%	----	76	42
Residuo TFOT				
Variación en masa	%	-0,14	-0,24	-0,07
Penetración retenida	1/10 mm	65	59	78
Aumento Punto Reblandecimiento	°C	6,4	8,4	3,3

Tabla 1. Características de los betunes

2.2 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

Para cada combinación de temperatura y tipo de betún ensayado, se han fabricado tres probetas siguiendo el procedimiento descrito en la actual norma para el ensayo de pista de laboratorio, NLT-173/00. De cada probeta de pista se han obtenido por serrado 10 probetas prismáticas, con unas dimensiones aproximadas de 150x50x50 mm. A cada probeta se le han practicado unas entalladuras en su parte central, haciendo disminuir su sección, con objeto de inducir de esta manera la formación de la fisura cuando se realiza el ensayo.

Para poder ensayar las probetas, y poder acoplarlas al dispositivo de ensayo se fijan unas placas metálicas a ambos extremos de la probeta con la ayuda de un adhesivo a base de resinas epoxi. Para asegurar que la probeta quede bien centrada en el eje de carga del dispositivo durante el ensayo, la probeta con sus placas, se ajustan a unos moldes metálicos que permiten su alineación, de forma que las excentricidades se reducen notablemente. En la Figura 4 se muestra cómo se ajusta el sistema probeta-placas a los moldes.

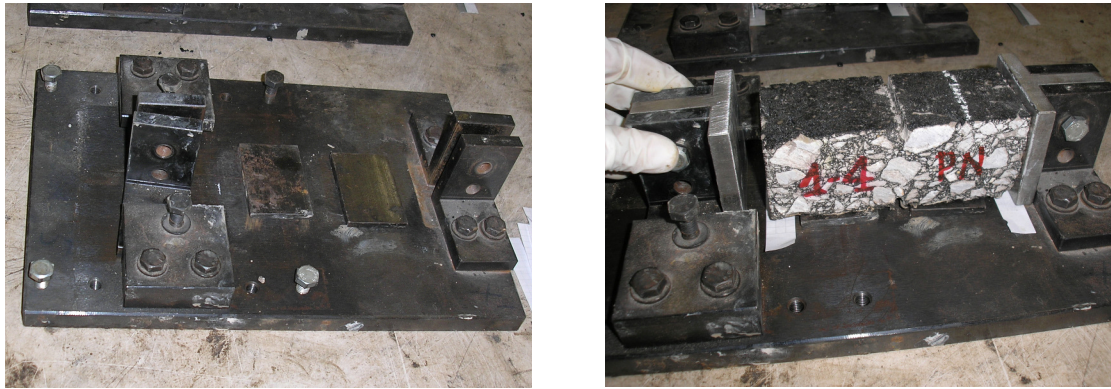


Figura 4. Proceso de fijación de las placas de los extremos de la probeta prismática

2.3 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

El ensayo consiste en someter las probetas prismáticas a un ensayo simple de tracción directa a diferentes temperaturas. Para la realización del ensayo se ha utilizado una prensa MTS que dispone de una cámara capaz de controlar la temperatura con una precisión de ± 1 °C. Antes de ensayar las probetas, estas se guardan durante 12 horas, bien en cámaras frigoríficas o en estufas, a la misma temperatura a la que se va a realizar el ensayo.

El ensayo se realiza mediante control de desplazamiento del pistón, aplicando un desplazamiento a una velocidad constante de 0,1 mm/min hasta llegar a la rotura total de la probeta. Esta velocidad es suficientemente baja como para poder considerar el ensayo estático.

En el software se registra la carga aplicada y la deformación producida mediante unos extensómetros de 25 mm de base situados a ambos lados de las entalladuras.

La Figura 5 muestra cómo se fija la probeta a la prensa, la situación de los extensómetros y la forma típica de rotura de las probetas sometidas a tracción.



Figura 5. Ensayo a tracción directa de la probeta prismática



Figura 6. Aspecto de la probeta prismática ensayada

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para cada tipo de betún y temperatura de ensayo se han obtenido las curvas carga vs desplazamiento, que después se han convertido en curvas tensión vs deformación unitaria con las que se va a trabajar.

De cada una de las curvas obtenemos los siguientes parámetros: la tensión máxima, el módulo de rigidez, la deformación unitaria de rotura y la tenacidad de la mezcla. A modo de ejemplo, la Figura 7 recoge las curvas tensión vs. deformación de los tres betunes a la temperatura de 25 °C.

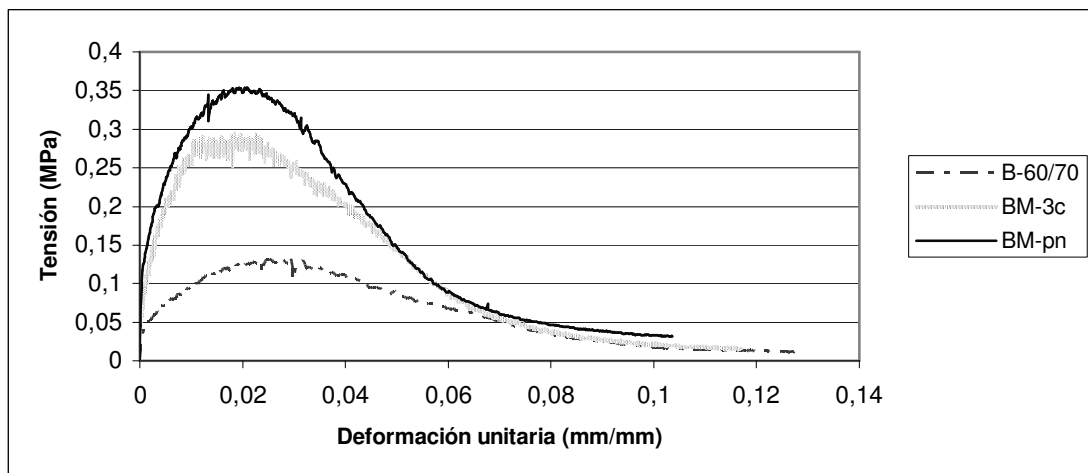


Figura 7. Curvas tensión vs deformación de los tres betunes a 25 °C

3.1 Tensión Máxima

La tensión máxima o tensión de rotura, es el cociente entre la carga máxima resistida por la probeta antes de romper y la superficie inicial sobre la que actúa dicha fuerza. Los valores de tensiones para cada tipo de betún en función de la temperatura se muestran en la Figura 8.

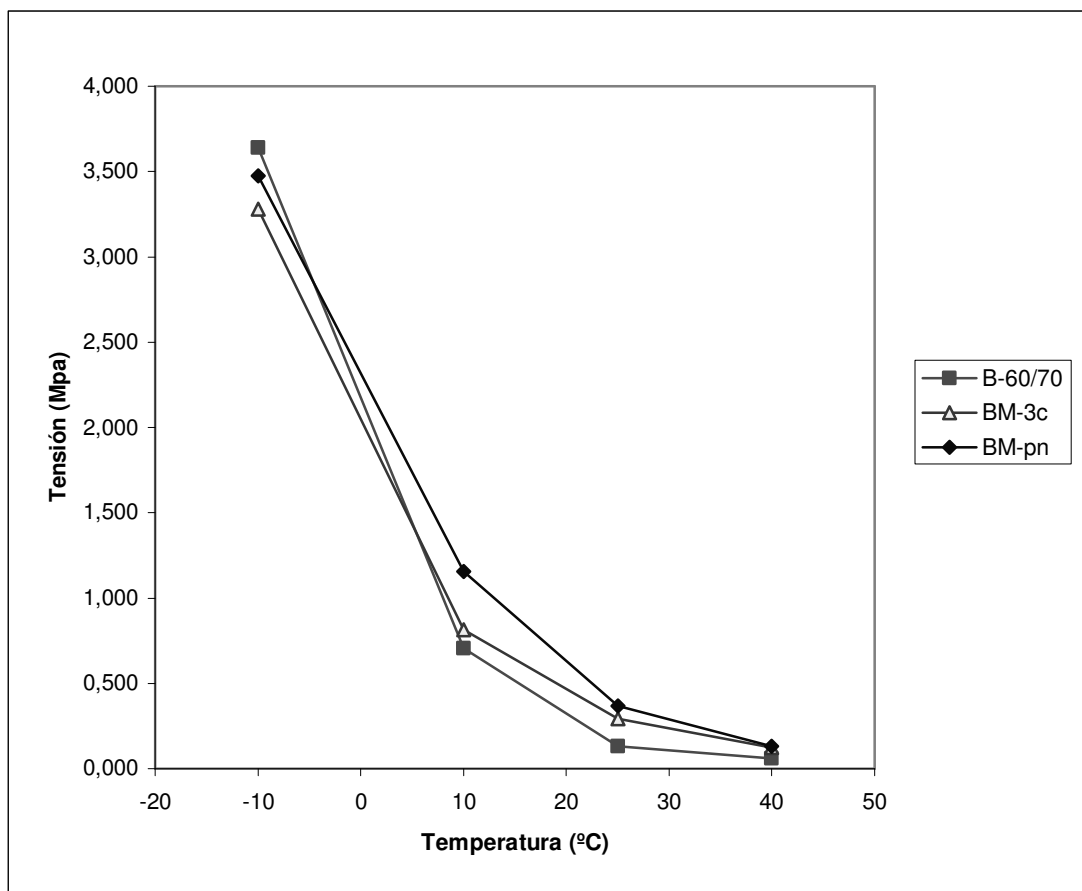


Figura 8. Variación de la tensión con la temperatura para los diferentes betunes ensayados

Como era de esperar, a medida que disminuimos la temperatura la resistencia de la mezcla aumenta.

Se observa que las diferencias de tensiones entre los diferentes tipos de betún son mínimas, por lo que la tensión de rotura no debería considerarse como único parámetro para diseñar las mezclas.

3.2 MÓDULO DE RIGIDEZ

El módulo de rigidez de la mezcla se ha calculado como la pendiente de la recta que va desde el origen hasta el punto de la curva tensión vs deformación donde se alcanza un valor del 80% de la tensión máxima de rotura.

En la Tabla 2 se presentan los valores de los módulos de rigidez de los betunes a las temperaturas ensayadas, que se han representado en la Figura 9.

Betún	Temperatura (°C)			
	-10	10	25	40
B-60/70	5525	141	8	2
BM-3c	1972	179	28	6
BM-pn	4229	473	34	10

Tabla 2. Módulo de rigidez secante (MPa) en función de la temperatura y tipo de betún

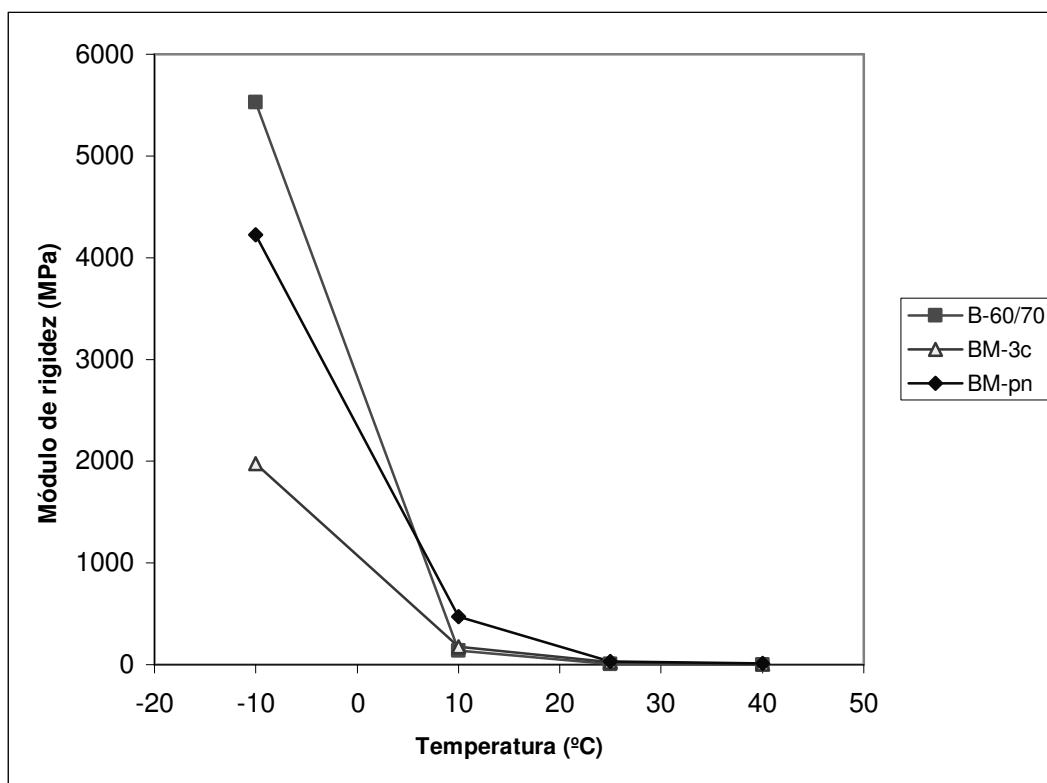


Figura 9. Variación del módulo de rigidez con la temperatura para los diferentes betunes ensayados

Existe una misma tendencia en todas las mezclas, a medida que la temperatura disminuye, el módulo de rigidez de las mezclas aumenta. Sin embargo, el aumento del módulo es más acusado en el betún convencional que en los betunes modificados, y entre éstos, el BM-3c es el que presenta un menor módulo a las temperaturas más bajas.

3.3 DEFORMACIÓN DE ROTURA

La deformación última de rotura de las probetas es aquella deformación tal que el esfuerzo soportado por la mezcla asfáltica es mínimo. Este valor se ha obtenido trazando la tangente más representativa en la curva post-pico, es decir, la recta tangente a la curva que cubra la mayor área de la misma. El punto de corte de esta recta con el eje de abscisas, se puede considerar como la deformación de rotura de la probeta. Un ejemplo gráfico se muestra en la Figura 10.

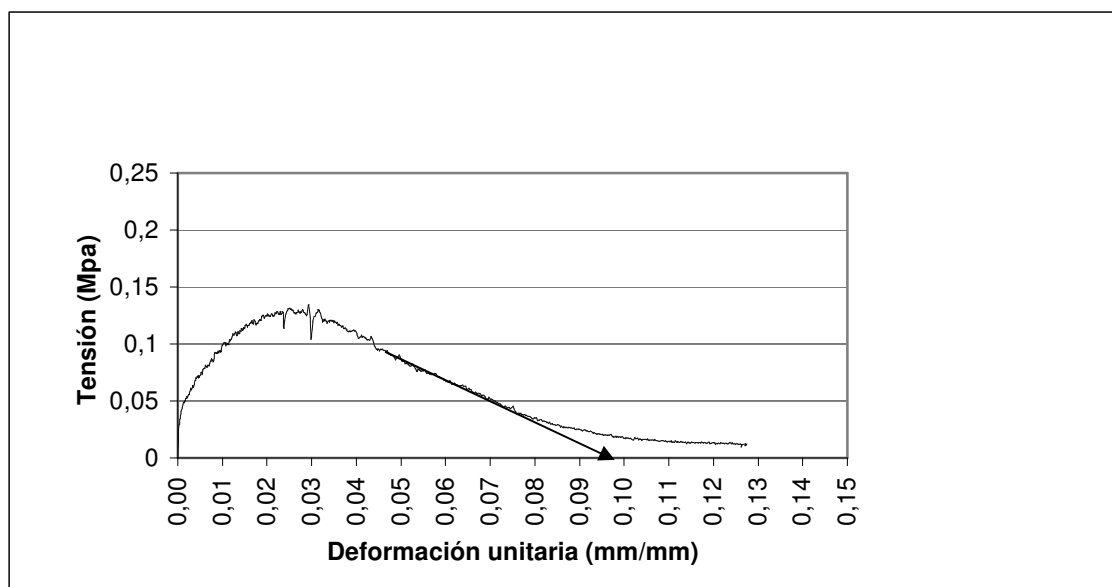


Figura 10. Determinación de la deformación de rotura

Algunos autores (Li et al, 2004) definen la deformación última de rotura como la deformación que se produce cuando la probeta, en su parte post-pico, llega a valores del 12 al 17% de la tensión máxima obtenida durante el ensayo. Otros marcan un límite de tensión fijo de 0,05 MPa (Alonso, 2006), por considerar esta tensión como la mínima admisible para cualquier tipo de mezcla, independientemente de la temperatura.

Las deformaciones de rotura para los distintos tipos de betún en función de la temperatura se han representado en la Figura 11.

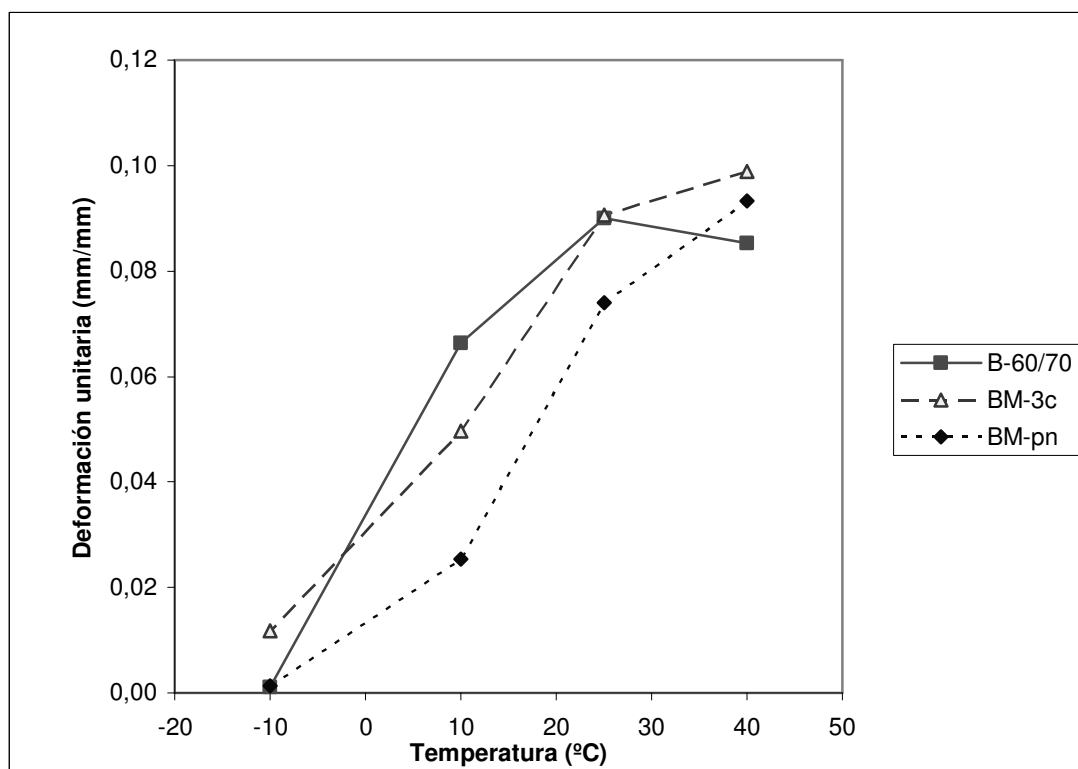


Figura 11. Variación de la deformación unitaria de rotura con la temperatura para los diferentes betunes ensayados.

Resulta obvio que la deformación de rotura aumente a medida que aumentamos la temperatura, ya que las mezclas se vuelven más dúctiles.

Comparando las mezclas con diferentes tipos de betún se observa que la fabricada con betún convencional se comporta como un material muy frágil a la temperatura de -10°C , para luego aumentar su ductilidad hasta los 25°C y posteriormente decrecer esta propiedad a altas temperaturas. El betún modificado con polímeros BM-3c aumenta la ductilidad de la mezcla tanto a bajas como a altas temperaturas, mientras que el betún modificado con polvo de neumático presenta menos ductilidad que el betún convencional en todo el rango de temperaturas ensayadas, salvo a 40°C , y tienen un comportamiento muy frágil a bajas temperaturas, -10°C .

3.4 TENACIDAD

Una vez determinada la deformación de rotura, se puede calcular la tenacidad como el área encerrada bajo la curva tensión vs deformación. Los valores de tenacidad que se han obtenido para los diferentes betunes y temperaturas de ensayo se muestran en la Figura 12.

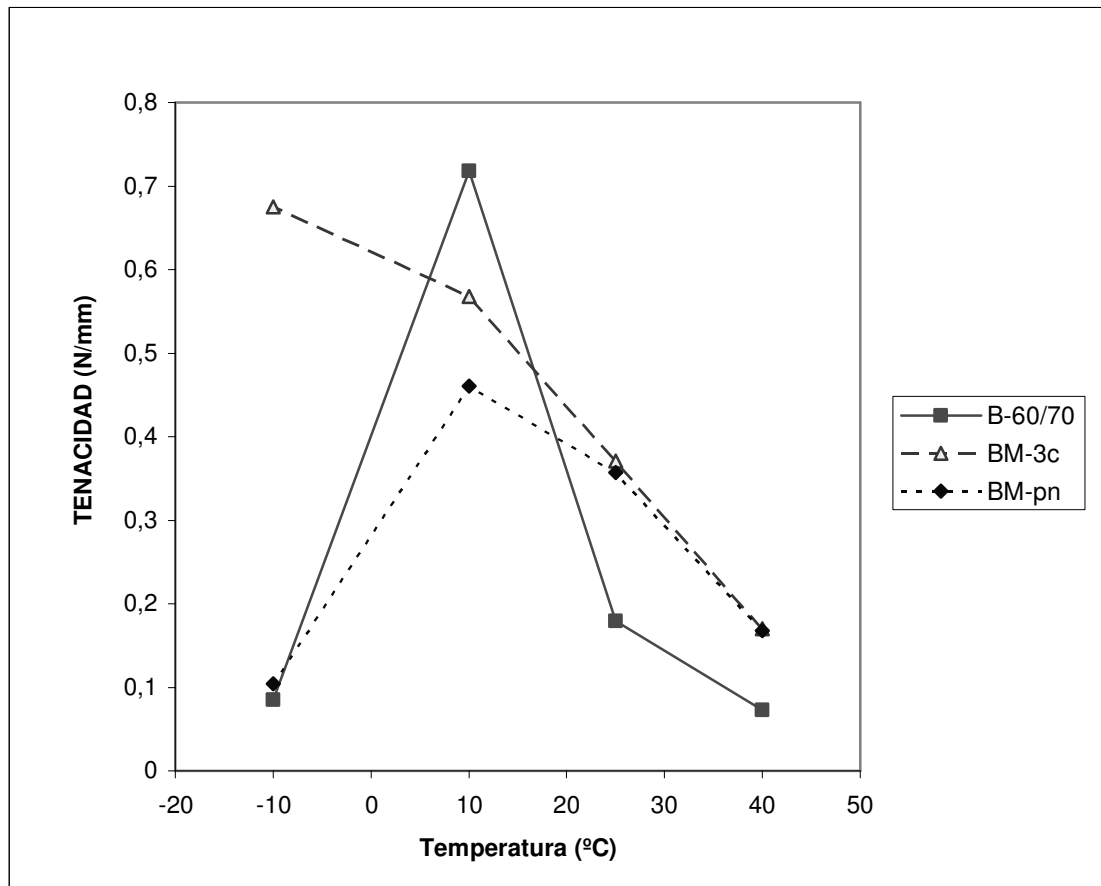


Figura 12. Variación de la Tenacidad con la temperatura para los diferentes betunes ensayados

Se observa que el tipo de betún tiene mucha influencia en la variación de la tenacidad con la temperatura.

A altas temperaturas, 40 °C, las mezclas con betunes modificados presentan una tenacidad similar entre ellas. A medida que va disminuyendo la temperatura, la tenacidad de la mezcla con el betún modificado con polímeros, aumenta progresivamente, mientras que para el betún modificado con polvo de neumático, aunque también aumenta hasta los 10 °C, por

debajo de esta temperatura disminuye bruscamente, es decir, presenta un máximo de tenacidad para esa temperatura.

Por su parte la mezcla con betún convencional parte, a 40 °C de una tenacidad inferior a la de los betunes modificados, aumenta considerablemente hasta los 10 °C, presentado un valor máximo, superior al de los betunes modificados, y disminuye a partir de esa temperatura hasta un valor similar al del betún modificado con polvo de neumáticos.

A bajas temperaturas, la tenacidad de las mezclas con betún convencional y betún modificado con polvo neumático es muy pequeña, debido a que su deformación de rotura es unas 10 veces menor que la de la mezcla con betún modificado con polímeros, mientras que la carga que aguantan toda ellas es del mismo orden.

El hecho de que la tenacidad de una mezcla involucre tanto su resistencia mecánica como su capacidad de deformación, hace que sea un parámetro importante a tener en cuenta en el diseño de las mezclas bituminosas.

4. CONCLUSIONES

En este artículo se ha mostrado la aplicación de un nuevo ensayo a tracción directa para obtener la tenacidad de las mezclas bituminosas, como una propiedad a tener en cuenta en el diseño de las mismas. La principal ventaja de este procedimiento se basa en la geometría prismática de la probeta, sobre la que únicamente se producen esfuerzos de tracción, lo que permite obtener fácilmente parámetros tales como la resistencia a tracción, el módulo de rigidez, la deformación de rotura y energía de fractura.

En este estudio se ha analizado la variación de estos parámetros con el tipo de betún y la temperatura de ensayo. Los resultados obtenidos han puesto de manifiesto que a altas temperaturas las mezclas con betunes modificados son capaces de alcanzar una mayor deformación antes de romper que la mezcla con betún convencional, es decir, son más tenaces, presentado ambos betunes modificados una tenacidad muy similar.

A medida que disminuye la temperatura, la tenacidad del betún modificado con polímeros va aumentando progresivamente, mientras que la del betún con polvo de neumático sólo aumenta hasta los 10 °C, disminuyendo a partir de esa temperatura.

Por su parte, el betún convencional presenta a 10 °C su mayor tenacidad, superior a la de los betunes modificados, que disminuye bruscamente a temperaturas más bajas hasta los mismos valores que presenta el betún modificado con polvo de neumáticos.

REFERENCIAS

- (1) Alonso, J. “Estudio del proceso de deformación y agrietamiento por fatiga de mezclas bituminosas sometidas a carga cíclica”. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, 2006.
- (2) Li, X.; Marasteanu, M. “Evaluation of the Low Temperature Fracture Resistance of Asphalt Mixtures Using the Semi Circular Bend Test”. Journal of the Association Asphalt Paving Technologists, 2004.
- (3) Pérez Jiménez, F.; Cepeda Aldape, J.; Miró Recasens, R. “Aplicación del ensayo BTD para determinar la energía de fractura y el comportamiento a fatiga de las mezclas bituminosas”. 11º Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, Lima, Perú, 2001.
- (4) Pérez Jiménez, F.; Miró Recasens, J.; Cepeda Aldape, J. “Análisis of Fatigue Performance of Asphalt Mixtures. Relationship between Toughness and Fatigue Resistance”. 6th International RILEM Symposium, Zurich, 2003.
- (5) Pérez Jiménez, F.; Miró Recasens, R.; Martínez, A. “Caracterización de los ligantes bituminosos a partir de su tenacidad y energía de rotura”. XIII Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, San José, Costa Rica, 2005.
- (6) Rodríguez Cambeiro, M. “Análisis de la propagación de fisuras y de los criterios de fallo en el comportamiento a fatiga de las mezclas bituminosas”. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, 2006.

- (7) Wagoner, M.P.; Buttlar, W.G.; Paulino, G.H. "Disk-shaped Compact Tension Test for Asphalt Concrete Fracture". Society for Experimental Mechanics, Vol. 45, № 3, 2005.